

Aus den Medizinischen Kliniken und Polikliniken
der Justus Liebig-Universität Gießen
(Direktoren: Prof. Dr. H. J. Dengler, Prof. Dr. H.-G. Lasch)

**Über das Verhalten des intrathorakalen Gas-
volumens, der Vitalkapazität, der Atemwegs-
Resistance und der Lungen-Compliance
während der Schwangerschaft**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
des Bereichs Humanmedizin
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Bärbel Spiegel geb. Indra
aus Bad Königswart

Gießen 1972

Aus den Medizinischen Kliniken und Polikliniken
der Justus Liebig-Universität Gießen
(Direktoren: Prof. Dr. H. J. Dengler, Prof. Dr. H.-G. Lasch)

**Über das Verhalten des intrathorakalen Gas-
volumens, der Vitalkapazität, der Atemwegs-
Resistance und der Lungen-Compliance
während der Schwangerschaft**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
des Bereichs Humanmedizin
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Bärbel Spiegl geb. Indra
aus Bad Königswart

Gießen 1972



Dekan:	Prof.Dr. Hj. Staudinger
Referent:	Prof.Dr.D. Nolte
Korreferent:	Prof.Dr.H. L'Allemand

Inhalt	Seite
1. Einleitung	2
2. Gemessene Lungenfunktions-Parameter	2
3. Methodik	3
3.1. Bodyplethysmographie	3
3.2. Druck-Volumen-Diagramm	9
3.3. Spirometer	11
3.4. Statistische Auswertung	11
4. Probanden	12
5. Untersuchungsgang	12
6. Ergebnisse	13
6.1. Intrathorakales Gasvolumen	17
6.2. Resistance	17
6.3. Vitalkapazität	17
6.4. Vergleich zwischen den Gruppen A,B,C,D	17
6.5. Korrelation zwischen intra- thorakalem Gasvolumen und Schwangerschaftswochen	19
6.6. Korrelation zwischen Resistance und intrathorakalem Gasvolumen	21
6.7. Verhalten der statischen Compliance	22
7. Diskussion	25
8. Zusammenfassung	31
9. Literatur	34

1. Einleitung

Die Volumenzunahme des Bauchraums während der Schwangerschaft geht zum Teil auf Kosten des Brustraums. Es kommt dadurch zu Auswirkungen auf die Atemmechanik, wie sie etwa von der Adipositas (4,17,18,20,25,35,49) oder der Laparoskopie (31,39) her bekannt sind. Durch die Verlagerung des Zwerchfells in Richtung Brustraum nimmt das funktionelle Residualvolumen ab, und die Atemmittellage wird in den unteren Teil der Vitalkapazität verschoben (2,10,26,28,38,40,41,43). Weiterhin wird die Atmung durch das in der Schwangerschaft vermehrt gebildete Hormon Progesteron beeinflusst. Es führt über noch ungeklärte Mechanismen zu einer Steigerung der Atemfrequenz sowie des Atemzugvolumens und daher zu einer Erhöhung des Atemminutenvolumens mit arterieller Hypokapnie (10,12,14,26,27,40,45,50,53).

In den letzten Jahren ist die Lungenfunktionsdiagnostik um neue Methoden bereichert worden, die insbesondere auf dem Gebiet der Atemmechanik physikalisch exakt definierte, von der Mitarbeit des Probanden weitgehend unabhängige Meßwerte liefern. Das trifft besonders für die Ganzkörperplethysmographie zu (15,16,36,37). Mit Hilfe dieser Methode wurde an Schwangeren untersucht, wie sich die atemmechanischen Meßgrößen während und nach der Gravidität verändern.

2. Gemessene Lungenfunktions-Parameter

Es wurden folgende Meßwerte bestimmt: das intrathorakale Gasvolumen (IGV), der bronchiale Strömungswiderstand = "Resistance" (R), die statische Lungen-Compliance (C) und die Vitalkapazität (VK).

Das intrathorakale Gasvolumen (IGV) ist definiert als das Luftvolumen, welches nach ruhiger Expiration im Thoraxraum verbleibt. Unter der Resistance (R), dem bronchialen

Strömungswiderstand (R), versteht man die Druckdifferenz, die an den beiden Enden des Tracheobronchialbaumes herrschen muß, damit eine Strömung V/t ($\dot{V}$) von 1 l/sec. aufrechterhalten wird.

Die Compliance (C) entspricht der Volumendehnbarkeit der Lunge:

$$C = \frac{V}{P} \quad (1/\text{cm H}_2\text{O})$$

Unter der Vitalkapazität (VK) versteht man die Volumendifferenz zwischen maximaler Ein- und Ausatmung.

3. Methodik

3.1. Bodyplethysmographie

Bronchialer Strömungswiderstand und intrathorakales Gasvolumen wurden durch einen "volumenkonstanten" Ganzkörperplethysmographen bestimmt (15,16).

Bei der Ganzkörperplethysmographie befindet sich die zu untersuchende Person mit dem ganzen Körper (daher auch "body"-Plethysmographie) in einer luftdicht abgeschlossenen Kammer. Der Proband atmet aus einem Atembeutel angewärmte und angefeuchtete Luft ("BTPS-Bedingungen"). Zur Ermittlung der Atemstromstärke ($\dot{V}$) wird die Atemluft in- und expiratorisch durch einen Pneumotachographen geleitet. Die Alveolardruckänderungen stellen sich durch die Druckänderungen in der Kammer dar.

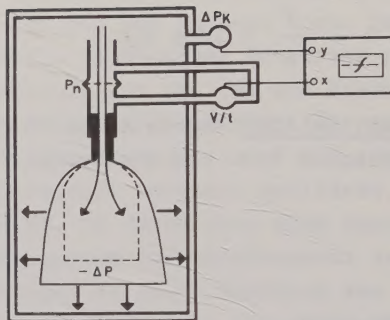


Abb. 1

Prinzip der ganzkörperplethysmographischen Resistance-messung

P_n = Pneumotachograph

ΔP_K = Druckaufnehmer für Kammerdruck

V/t = Differenzdruckaufnehmer für Stromstärke

$-\Delta P$ = subatmosphärischer Druck in den Alveolen während der Inspiration

x = x-Achse eines 2-Koordinatenschreibers $\hat{=}$ Kammerdruck

y = y-Achse eines 2-Koordinatenschreibers $\hat{=}$ Atemstromstärke

Abb.1 zeigt schematisch das Prinzip der Messung: Damit inspiratorisch Luft aus der Kammer in die Lunge strömen kann, muß in den Alveolen ein negativer Druck ($-\Delta P$) erzeugt werden. Dies geschieht durch die Tätigkeit der Atemmuskulatur. Dabei wird die Luft in den Alveolen gedehnt, und die Lungen nehmen einen etwas größeren Raum in der Kammer ein. Die Kammerluft wird gegensinnig etwas komprimiert, und der Kammerdruck steigt um den Betrag ΔP_K an. Dieser Wert, der beim Gesunden bei etwa $\frac{1}{100}$ mm Hg liegt, kann mit Hilfe eines äußerst empfindlichen Elektromanometers gemessen werden. Während eines gesamten Atemzyklus können nun mit Hilfe eines 2-Koordinatenschreibers Atemstromstärke (y-Achse) und Kammerdruck (x-Achse) synchron gegeneinander registriert werden. Man erhält so ein Druck-Strömungsdiagramm, das aber noch keine Aussage über die Größe des bronchialen Strömungswiderstandes erlaubt, da ja statt des Alveolardrucks der Kammerdruck aufgezeichnet wurde. Um die Kurve richtig auswerten zu können, muß bekannt sein, welcher Alveolardruck (ΔP_A) einer bestimmten Kammerdruckänderung entspricht. Um die gesuchte Beziehung $\Delta P_A / \Delta P_K$ ermitteln zu können, müssen Meßbedingungen geschaffen werden, die gleichzeitig Kammerdruck und Alveolardruck gegeneinander registrieren lassen. Wird das Atemrohr durch ein Ventil verschlossen, so daß keine Strömung und damit auch kein Druckgefälle mehr zwischen Alveolen und Mundöffnung besteht, kann der Alveolardruck direkt als Munddruck abgeleitet werden. Es herrscht jetzt an allen Stellen zwischen Alveolen und Verschlußventil gleicher Druck ("statische Bedingungen"). Fordert man den Patienten auf, atemähnliche Bewegungen ("Hecheln") zu machen, so fällt z.B. bei der Inspirationsbewegung der Alveolardruck = Munddruck etwas ab, während der Druck in der Kammer etwas zunimmt (s.Abb.2).

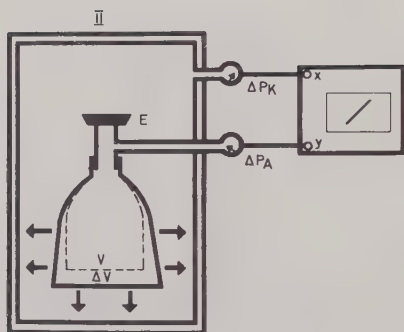


Abb. 2
Bestimmung von $\frac{\Delta P_K}{\Delta P_A}$ bei geschlossenem Atemrohr

- E = Ventil
- V = intrathorakales Gasvolumen
- ΔV = Volumenänderung
- ΔP_K = Kammerdruck
- ΔP_A = Alveolardruck
- x, y = Achsen eines 2-Koordinatenschreibers

Registriert man nun die unter diesen Bedingungen gemessenen Größen ΔP_A und ΔP_K auf einem 2-Koordinatenschreiber direkt gegeneinander, so erhält man eine Gerade (Verschlußdruck- oder "Hechel"-Kurve), deren Steigung ($\operatorname{tg} \alpha$) das Verhältnis $\Delta P_A / \Delta P_K$ wiedergibt (s. Abb. 3).

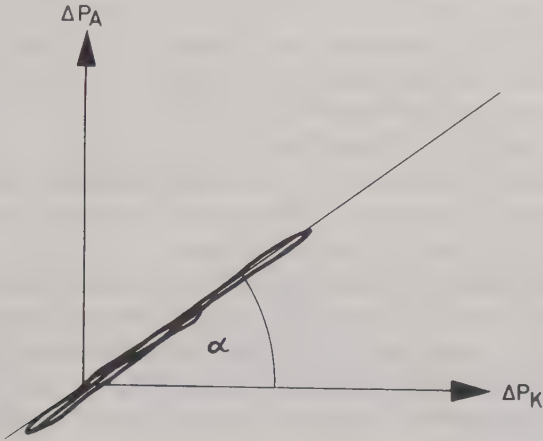


Abb. 3 Verschlußdruckkurve

ΔP_A = Alveolardruckänderung

ΔP_K = Kammerdruckänderung

Die Steigung der Geraden ($\operatorname{tg} \alpha$) gibt das Verhältnis $\Delta P_A / \Delta P_K$ wieder.

Die Atemwegs-Resistance läßt sich jetzt aus der Druck-Strömungskurve mit Hilfe der Verschlußdruckkurve folgendermaßen ermitteln:

$$\text{Steigung der Druck-Strömungskurve} = \frac{\dot{V}}{\Delta P_K} = \operatorname{tg} \beta$$

$$\text{Steigung der Verschlußdruckkurve} = \frac{\Delta P_A}{\Delta P_K} = \operatorname{tg} \alpha$$

Der Quotient aus den Steigungen der beiden Kurven ergibt die Resistance R: $\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\Delta P_A}{\dot{V}} = R$

Ein zweiter wichtiger Parameter, nämlich das i n - t r a t h o r a k a l e Gasvolumen, läßt sich ebenfalls aus der Verschlußdruckkurve ermitteln. Wird genau am Ende einer normalen Expiration das Atemrohr geschlossen, so entspricht das jetzt im Thorax befindliche Gasvolumen beim Gesunden dem funktionellen Residualvolumen (FRV). Bei der plethysmographischen Messung des intrathorakalen Gasvolumens werden alle intrathorakal lokalisierten Gasvolumina mit erfaßt, auch wenn sie mit dem Tracheobronchialbaum nicht in Verbindung stehen (z.B. Pneumothorax). Das intrathorakale Gasvolumen und das mit den bisherigen Fremdgasmethoden (32) gemessene funktionelle Residualvolumen sind damit nur bedingt miteinander vergleichbar.

Die plethysmographische Bestimmung des intrathorakalen Gasvolumens beruht auf dem Prinzip des Boyle-Mariotte'schen Gesetzes. Bei den "Hechel"-Bewegungen gegen das verschlossene Atemventil bleibt unter den in der Lunge gegebenen isothermen Bedingungen das Produkt aus Druck und Volumen konstant:

$$P \cdot V = \text{const. (Boyle-Mariotte'sches Gesetz)}$$

V ist das im Moment des Verschlusses im Thorax befindliche Volumen, also das gesuchte intrathorakale Gasvolumen, und P ist der atmosphärische Druck. Da die Volumenänderungen ΔV und ΔP während der "Hechel"-Bewegungen gegenüber V und P sehr klein sind, kann das Differential des Boyle-Mariotte'schen Gesetzes gebildet werden:

$$dP \cdot V + dV \cdot P = 0$$

$$V = - \frac{dV}{dP} \cdot P$$

oder für endliche Zustandsänderungen

$$\text{IGV} = - \frac{\Delta V}{\Delta P_A} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{atmosphärischer Druck} \\ p \text{ H}_2\text{O} \end{array} \right)$$

Die registrierte "Hechel"-Kurve gibt die Beziehung zwischen ΔP_K und ΔP_A wieder. Von ΔP_K kann man leicht auf die gesuchte Größe ΔV schließen, indem man durch Eichung feststellt, um welchen Betrag der Kammerdruck ansteigt, wenn (z.B. mit einer Eichpumpe) ein definiertes Luftvolumen in die Kammer gefüllt wird.

$$\Delta V = \Delta P_K \cdot \text{Eichkonstante}$$

Dann gilt für das IGV:

$$\text{IGV} = - \frac{\Delta P_K}{\Delta P_A} \cdot \text{Eichkonstante (atmosphärischer Druck - 47)}$$

Die durch diese Methode ermittelten Werte für das IGV sind wie die des FRV von Alter, Größe und Körpergewicht des untersuchten Patienten abhängig.

Trotz der kompliziert erscheinenden theoretischen Grundlagen der ganzkörperplethysmographischen Methode ist die technische Handhabung des Gerätes einfach. Die Messung selbst dauert nur wenige Minuten, ist deshalb häufig wiederholbar und stellte z.B. für die schwangeren Frauen nur eine minimale Belastung dar.

3.2. Druck-Volumen-Diagramm

Registriert man Atemvolumen und Ösophagusdruck auf den beiden Achsen eines 2-Koordinatenschreibers während eines Atemzuges synchron gegeneinander, so erhält man ein Druck-Volumen-Diagramm der Lunge. Die Ösophagusdruckmessung erfolgt mit Hilfe eines 75-80 cm langen, an ein Differentialmanometer angeschlossenen Polyäthylenschlauches, während die Messung des Atemvolumens über einen Pneumotachographen mit Integrator vorgenommen wird. Man findet dabei im Hauptbereich der Vitalkapazität, in Analogie zum Hooke-Gesetz, eine lineare Beziehung zwischen Druck und Volumen:

$$\frac{\Delta P}{\Delta V} = E' (\text{cm H}_2\text{O/l})$$

E ist ein Maß für die Elastizität des Lungengewebes ("Elastance"). Aus praktischen Gründen wird der reziproke Wert, die Dehnbarkeit ("Compliance") verwendet:

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = C \text{ (l/cm H}_2\text{O)}$$

Bei der Bestimmung der statischen Compliance werden die Auswirkungen dynamischer Faktoren auf das Druck-Volumen-Diagramm auf ein Minimum reduziert, indem man den Probanden auffordert, tief aus- und dann sehr langsam und möglichst gleichmäßig bis zur Totalkapazität einzuatmen. Je langsamer eingeatmet wird, umso mehr nähert sich der gewonnene Compliancewert einer wirklich statischen Meßgröße (s. Abb. 4).

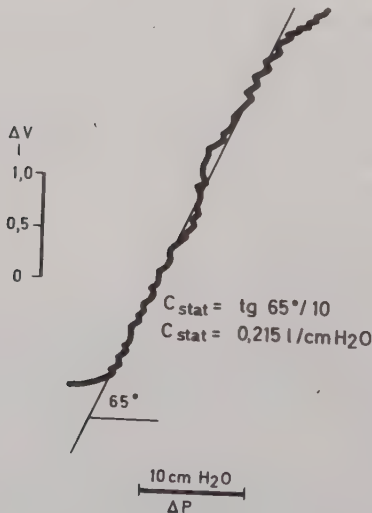


Abb. 4

"Quasi-statisches" Druck-Volumen-Diagramm
Erläuterung siehe Text

3.3. Spirometer

Die Vitalkapazität wurde im "halboffenen" spiographischen System bestimmt: nach maximaler Inspiration atmet der Proband so tief wie möglich in ein großvolumiges Trockenspirometer aus. Das Ausatemungsvolumen läßt sich direkt an einem Meßstab ablesen. Diese Methode ergibt nur ungenaue Meßwerte für die Vitalkapazität, weil ein Trockenspirometer eine erhebliche Reibung besitzt. Bei der vorliegenden Untersuchungsreihe kam es aber nicht auf den Absolutwert der Vitalkapazität an, sondern allein auf einen Vergleich von Einzelwerten bei ein und demselben Probanden.

3.4. Statistische Auswertung

Zur statistischen Analyse der erhaltenen Mittelwerte wurde der t-Test für verbundene Stichproben ("Paarvergleich") durchgeführt. Man bildet dabei die Differenz zwischen zwei Meßwertpaaren und prüft, ob sich die mittlere Differenz signifikant von Null unterscheidet. Der Unterschied zwischen beiden Meßreihen wurde als signifikant bezeichnet, wenn die Nullhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 % abzulehnen war.

Häufig besteht zwischen zwei Veränderlichen x und y auch eine funktionelle Beziehung. Falls die Anschauung nicht dagegen spricht, nimmt man eine lineare Abhängigkeit der beiden Variablen an und bestimmt die Gleichung derjenigen Geraden, für die die Summe der Quadrate der Abweichungen vom Kurvenwert ein Minimum wird. Das Steigungsmaß dieser Geraden heißt Regressionskoeffizient. Aus der Regressionsgeraden kann man den Korrelationskoeffizienten r ableiten. Er gibt an, wie straff die Beziehung zwischen

den beiden Veränderlichen ist ($r = 0$: keine Korrelation, $r = 1$: totale Abhängigkeit). Die Ermittlung der Regressionsgeraden und des Korrelationskoeffizienten erfolgte mit Hilfe eines Digitalrechners.

4. Probanden

Es wurden insgesamt 30 Frauen mehrmals im Verlauf der Schwangerschaft und bis zu 40 Wochen nach der Entbindung untersucht. Die Probandinnen stellten sich in regelmäßigen zeitlichen Abständen im Rahmen der Schwangerenfürsorge in der Poliklinik der Universitätsfrauenklinik vor. Bei dieser Gelegenheit wurden jeweils auch die atemphysiologischen Untersuchungen durchgeführt. Zu den postpartalen Untersuchungen wurden die Frauen einzeln schriftlich einbestellt.

5. Untersuchungsgang

Bei 24 Probandinnen wurden 139 mal nebeneinander intrathorakales Gasvolumen (IGV), Resistance (R) und Vitalkapazität (VK) bestimmt. Von den 139 Messungen erfolgten 82 im Verlauf der Schwangerschaft, 57 nach der Entbindung. Die früheste Messung erfaßte die 14. Schwangerschaftswoche, die späteste die 40. Woche nach der Entbindung. Das Durchschnittsalter der Frauen betrug 29,3 Jahre $\pm$ 4,5. 7 Frauen waren I.para, 13 II.para, 3 III.para und 1 V.para. Wegen der nicht unerheblichen Belästigung durch die Ösophagusballonsonde konnte die statische Compliance nur bei 6 Frauen bestimmt werden und zwar einmal kurz vor ($\bar{x} = 18,16$ Tage $\pm$ 5,30) und einmal kurz nach ($\bar{x} = 6,0$ Tage $\pm$ 5,41) der Entbindung.

6. E r g e b n i s s e

Von keiner der untersuchten Frauen waren frühere Lungenfunktionswerte bekannt. Um dennoch einen für den Paarvergleich erforderlichen "Normalwert" zur Verfügung zu haben, wurden die am weitesten von der Entbindung entfernten postpartalen Meßergebnisse als Ausgangswerte angesehen. Sie waren im Mittel 22,6 Wochen $\pm$ 7,8 post partum bestimmt worden. Die größte Differenz war zwischen diesen Werten und den so kurz wie möglich vor der Entbindung gemessenen Werten zu erwarten. Der Meßzeitpunkt betrug im Mittel 36,8 Schwangerschaftswochen $\pm$ 3,1. Das Verhalten der Einzel- und Mittelwerte sowie das Ergebnis des Paarvergleichs sind in den Abbildungen 5 - 7 dargestellt.

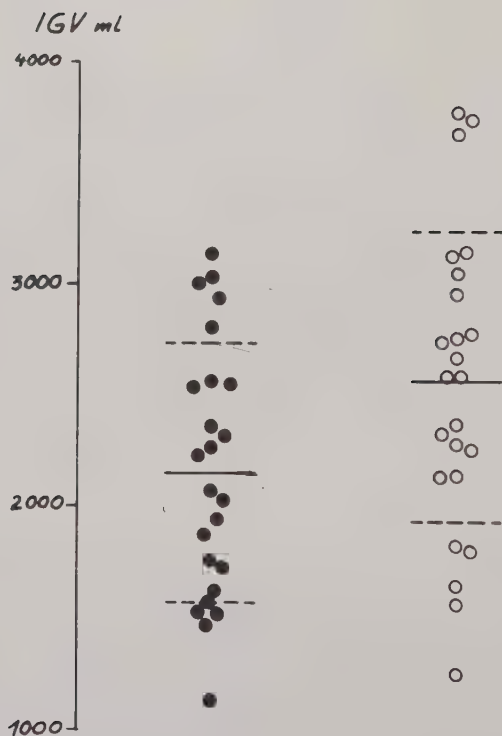


Abb. 5 Einzelwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen für das intrathorakale Gasvolumen (IGV): links = ante partum, rechts = post partum.

Der Unterschied zwischen den beiden Stichprobenmittelwerten ist signifikant ($P < 0,0005$, t-Test, Paarvergleich)

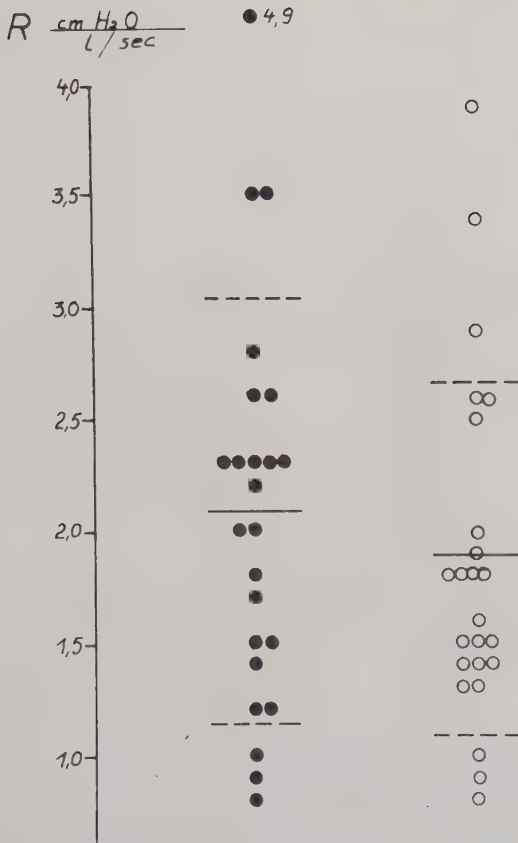


Abb. 6 Einzelwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen für den bronchialen Strömungswiderstand (R): links = ante partum, rechts = post partum.

Der Unterschied zwischen den beiden Stichprobenmittelwerten ist signifikant ($P < 0,025$, t-Test, Paarvergleich)

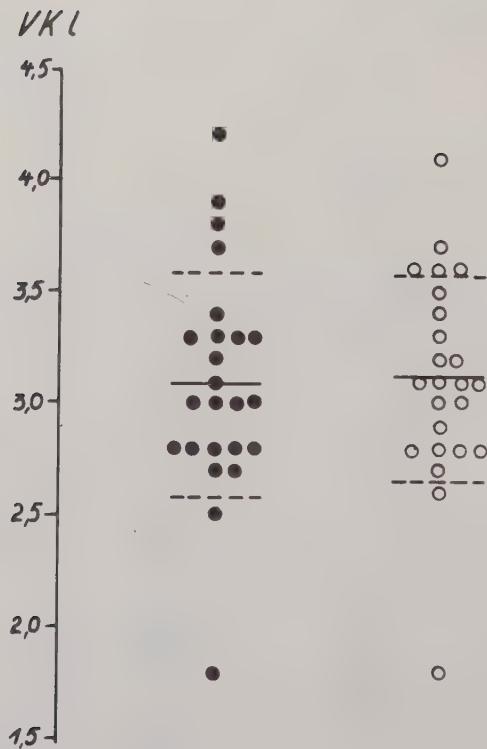


Abb. 7 Einzelwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen für Vitalkapazität (VK):
links = ante partum, rechts = post partum.
Der Unterschied zwischen den beiden Stichprobenmittelwerten ist nicht signifikant.

6.1. Intrathorakales Gasvolumen

Der Mittelwert des intrathorakalen Gasvolumens betrug, kurz ante partum gemessen, 2167,91 ml $\pm$ 570,21. Der post partum gemessene Wert war mit 2597,08 ml $\pm$ 647,88 um 429,2 ml höher. Dies entspricht einer signifikanten ($P < 0,0005$) Abnahme des intrathorakalen Gasvolumens von 16,5 % am Ende der Schwangerschaft.

6.2. Bronchialer Strömungswiderstand

Der Mittelwert des bronchialen Strömungswiderstandes betrug am Ende der Schwangerschaft $2,11 \frac{\text{cm H}_2\text{O}}{\text{l/sec.}} \pm 0,95$. Er war damit gegenüber dem post partum gemessenen Wert von $1,90 \frac{\text{cm H}_2\text{O}}{\text{l/sec.}} \pm 0,79$ um 0,21 erhöht. Dies entspricht einer signifikanten ($P < 0,025$) Zunahme des bronchialen Strömungswiderstandes von 11,1 % am Ende der Schwangerschaft.

6.3. Vitalkapazität

Der Vergleich der Mittelwerte der Vitalkapazität zwischen der Schwangerschaft und der Zeit nach der Entbindung erbrachte keinen signifikanten Unterschied:

VK ante partum = 3091,66 ml $\pm$ 502,96, VK post partum = 3116,66 ml $\pm$ 463,13.

6.4. Vergleich zwischen den Gruppen A,B,C,D.

Aus der gesamten Anzahl der Meßwerte für intrathorakales Gasvolumen und Resistance wurden entsprechend dem Verlauf der Untersuchung vier Gruppen - A,B,C,D - gebildet: Die Gruppe A umfaßt sämtliche Meßergebnisse der Zeit zwischen der 14. bis 28. Schwangerschaftswoche, die Gruppe B sämtliche Meßergebnisse zwischen der 29. Schwangerschaftswoche bis zum Entbindungstermin. In der Gruppe C sind alle Ergebnisse zwischen der 1. bis 11. Woche nach der Entbindung und in der Gruppe D alle Ergebnisse zwischen der 12. bis 40. Woche nach der Entbindung zusammengefaßt (s.Abb.8).

IGV in ml

	A	B	C	D
A	A	n = 15 $\bar{x} = -52,67$ $S = +256,58$ $P > 0,20$	n = 13 $\bar{x} = 310,77$ $S = +225,51$ $P < 0,0005$	n = 15 $\bar{x} = 467,33$ $S = +349,91$ $P < 0,0005$
B	n = 15 $\bar{x} = -0,0420$ $S = +0,9704$ $P > 0,1$	B	n = 20 $\bar{x} = 168,50$ $S = +248,64$ $P < 0,005$	n = 23 $\bar{x} = 403,04$ $S = +276,91$ $P < 0,0005$
C	n = 15 $\bar{x} = 0,3186$ $S = +0,7016$ $P < 0,05$	n = 20 $\bar{x} = 0,0330$ $S = +0,5092$ $P > 0,35$	C	n = 20 $\bar{x} = 218,00$ $S = +203,72$ $P < 0,0005$
D	n = 13 $\bar{x} = 0,3323$ $S = +0,9103$ $P > 0,1$	n = 23 $\bar{x} = 0,3421$ $S = +0,5449$ $P < 0,005$	n = 20 $\bar{x} = 0,1800$ $S = +0,6124$ $P > 0,1$	D

RESISTANCE in $\frac{cm H_2O}{l/sec}$

Abb. 8 Vergleich der mittleren Differenz zwischen den Gruppen A,B,C,D für intrathorakales Gasvolumen und Resistance.

$\bar{x}$ = mittlere Differenzen

S = Standardabweichungen der mittleren Differenzen

n = Zahl der Stichprobenpaare

P = Irrtumswahrscheinlichkeit

Dabei ergibt sich für das intrathorakale Gasvolumen ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen A und D, B und D und C und D, wobei die errechnete Differenz der Mittelwerte zwischen den Gruppen A und D mit 467 ml am größten ist. Der signifikante Unterschied zwischen den beiden postpartalen Gruppen C und D zeigt, daß das intrathorakale Gasvolumen erst relativ spät nach der Entbindung wieder seinen Ausgangswert erreicht.

Für den bronchialen Strömungswiderstand fand sich zwischen den Gruppen B und D sowie A und C ein signifikanter Unterschied. Die Resistance war kurz vor der Entbindung im Mittel um $0,34 \frac{\text{cm H}_2\text{O}}{1/\text{sec.}}$ höher als in der 12. bis 40. Woche nach der Entbindung.

6.5. Korrelation zwischen intrathorakalem Gasvolumen und Schwangerschaftswochen

Setzt man Schwangerschaftsdauer und intrathorakales Gasvolumen (IGV) zueinander in Beziehung, so erhält man eine Regressionsgerade mit der folgenden Gleichung:

$$\text{IGV in ml} = - 27,1 \text{ Schwangerschaftswochen} + 3081,1$$

Der Korrelationskoeffizient, der das Maß der Straffheit der Beziehung zwischen den beiden Veränderlichen x und y angibt, ist mit $r = - 0,33$ sehr klein. Die Regressionsgerade erweist sich jedoch als signifikant ($P < 0,005$).

Das bedeutet: zwischen Schwangerschaftsdauer und Höhe des intrathorakalen Gasvolumens (IGV) besteht eine lockere stochastische Korrelation in dem Sinne, daß das IGV umso niedriger liegt, je älter die Schwangerschaft ist (s. Abb. 9).

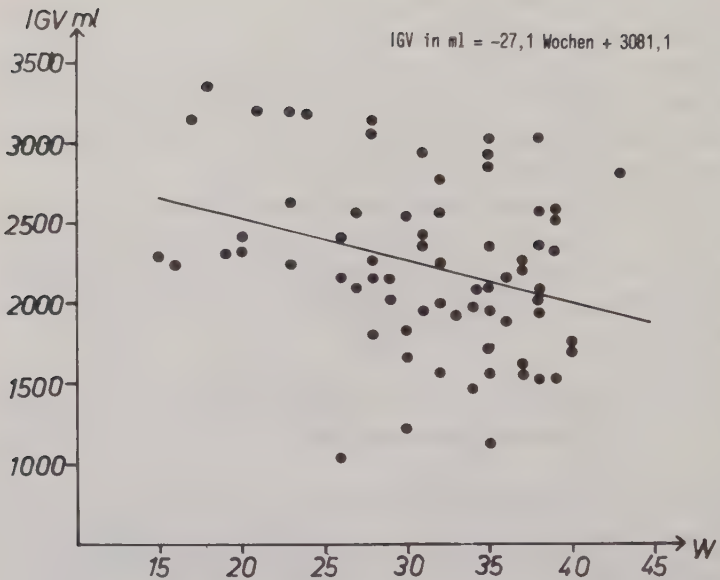


Abb. 9 Beziehung zwischen Schwangerschaftsdauer (in Wochen = W) und Höhe des intrathorakalen Gasvolumens (IGV) mit Verteilung der einzelnen Meßpunkte um die erhaltene Regressionsgerade und Angabe der Regressionsgleichung (im Bild rechts oben)

6.6. Korrelation zwischen Resistance und intrathorakalem Gasvolumen

Die korrelationsstatistische Auswertung der Beziehung zwischen der Höhe des intrathorakalen Gasvolumens (IGV) und des bronchialen Strömungswiderstandes (R) ergibt eine Hyperbelfunktion mit folgender Gleichung (s.Abb.10).

$$R = \frac{6,94}{IGV + 1,56}$$

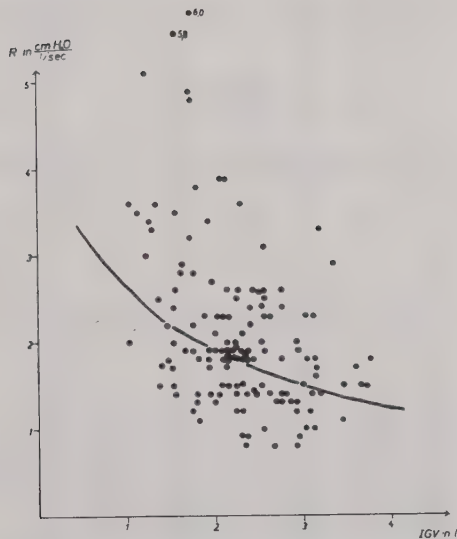


Abb. 10 Beziehung zwischen der Höhe des intrathorakalen Gasvolumens und des bronchialen Strömungswiderstandes mit Verteilung der einzelnen Meßpunkte um die erhaltene Hyperbel.

Die Beziehung erweist sich wiederum als nicht sehr eng ($r = - 0,389$), aber signifikant ($P < 0,0005$).

6.7. Verhalten der statischen Compliance

Bei 6 Probandinnen wurde mittels der Ösophagusdruckmessung und der Pneumotachographie jeweils kurz vor und kurz nach der Entbindung die statische Compliance bestimmt. Mit Hilfe des intrathorakalen Gasvolumens wurde auch die spezifische Compliance (30) errechnet, da die Dehnbarkeit der Lunge nicht allein von den Eigenschaften des Lungengewebes, sondern auch von der Größe des Lungenvolumens abhängt (s. Abb. 11). Die spezifische Compliance entspricht der Umrechnung der Druck-Volumen-Beziehung $\Delta V / \Delta P$ auf das funktionelle Residualvolumen:

$$C_{\text{spezif.}} = \frac{\Delta V}{\Delta P} / \text{FRV}$$

$n = 6$	ante partum	post partum	Differenz	P
Compl. Stat.	164,66 $\pm$ 20,95	153,16 $\pm$ 18,9	11,50 $\pm$ 33,99	$> 0,20$
IGV	2233,33 $\pm$ 435,00	2313,33 $\pm$ 435,41	80 $\pm$ 383,14	$> 0,3$
Compl. spez.	75 $\pm$ 14,63	68,50 $\pm$ 16,39	6,83 $\pm$ 11,61	$> 0,10$

Abb. 11 Verhalten der statischen Compliance (Compl. stat.), des intrathorakalen Gasvolumens (IGV) und der spezifischen Compliance (Compl. spez.) von sechs Frauen kurz ante partum und kurz post partum. Differenzen der Mittelwerte mit Standardabweichungen, P = Irrtumswahrscheinlichkeit. Keine der drei Differenzen weicht statistisch signifikante von 0 ab.

Abb. 11 zeigt, daß eine signifikante Änderung der statischen oder der spezifischen Compliance kurz vor der Entbindung gegenüber kurz nach der Entbindung **n i c h t** nachzuweisen war.

7. D i s k u s s i o n

Mit der Größenzunahme des graviden Uterus kommt es in der Schwangerschaft zu einer Volumenzunahme des Bauchraumes, die zum kleinen Teil auch auf Kosten des Brustraums erfolgt. Die Verlagerung des Zwerchfells in Richtung Brustraum und die Verschiebung der Atemmittellage in den unteren Teil der Vitalkapazität lassen bereits vermuten, daß die Schwangerschaft zu Veränderungen atemmechanischer Meßgrößen führen muß. Die meisten bisherigen Untersuchungen zu dieser Frage sind aber mit spirometrischen Methoden durchgeführt worden, deren Ergebnisse im Gegensatz zu der hier angewandten Bodyplethysmographie stark von der Mitarbeit des zu Untersuchenden abhängen. Vielleicht liegt darin der Grund für die vielen widersprüchlichen Befunde in der Literatur.

Schon 1910 berichteten BITTORF und FORSCHBACH (5) über eine Abnahme der Vitalkapazität in der Gravidität - ein Befund, der in der Folge durch mehrere Untersuchungen gestützt wurde (1,2,6,9,19,28,34,43). RUBIN et al. (43) untersuchten 8 Frauen in der 38. bis 40. Schwangerschaftswoche und in der 7. bis 14. Woche nach der Entbindung. Der Mittelwert für die Vitalkapazität betrug dabei ante partum 2759 ml, während er post partum auf 3054 ml anstieg. Auch FERRERO et al. (19) beschrieben ein Absinken der Vitalkapazität in den letzten Schwangerschaftswochen. COLETTE et al. (9) verfolgten die Lungenfunktion erstmalig über den gesamten Verlauf der Schwangerschaft. Dabei fanden sie ein deutliches Absinken der Vitalkapazität erst in den beiden letzten Monaten der Schwangerschaft.

Im einzelnen ergaben sich folgende Werte für die Vitalkapazität:

Mens II	3115 ml	±	268
Mens III	3114 ml	±	282
Mens IV	3190 ml	±	414
Mens V	3120 ml	±	336
Mens VI	3020 ml	±	181
Mens VII	3100 ml	±	492
Mens VIII	2872 ml	±	390
Mens IX	2825 ml	±	113
post partum	3200 ml	±	569

Abweichend hiervon finden sich jedoch auch Mitteilungen, wonach die Vitalkapazität in der Schwangerschaft nicht verändert ist (10,13,33,38,40,41,51,54), oder sogar erhöht sein soll (26,48). PREVARSKY (40), der die Vitalkapazität ebenfalls im gesamten Verlauf der Schwangerschaft bestimmte, fand z.B. für das erste Drittel der Schwangerschaft einen Mittelwert von 3641 ml, von dem die Mittelwerte des zweiten und dritten Drittels mit 3649 ml und 3594 ml nicht signifikant abweichen. Auch nach den eigenen Befunden ist die Vitalkapazität im Verlauf der Schwangerschaft *n i c h t* verändert. Sie betrug kurz ante partum 3092 ml ± 503 und stieg post partum zwar auf 3117 ml ± 463 an; die kleine Differenz von 125 ml war jedoch nicht statistisch zu sichern. Bei kritischer Wertung der eigenen Befunde muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Vitalkapazität mit einem relativ wenig empfindlichen Trockenspirometer bestimmt wurde.

Widersprüchlich sind die Angaben in der Literatur auch über das Verhalten der dynamischen Lungenvolumina - etwa des Atemgrenzwertes: Er bleibt nach CUGELL et al. (10) und MIRAGLIA et al. (33) unverändert; in Untersuchungen von RUBIN et al. (43) war er jedoch bei Schwangeren, die kurz vor der Entbindung standen, gegenüber Nichtschwangeren von 54,9 l/min./ m² auf 59,9 l/min./ m² erhöht.

FERRERO und MATTICLI (19) erhielten ein ähnliches Ergebnis: 43,5 l/min. ante partum gegenüber 30,69 l/min. post partum.

Andere Autoren wiesen demgegenüber eine *Abnahme* des Atemgrenzwertes im Verlauf der Schwangerschaft nach (9,22,27,40,42) und erklären diesen Befund mit der reduzierten Beweglichkeit von Zwerchfell und Thorax (22, 23,42) für extreme Atembewegungen, wie sie für einen normalen Atemgrenzwert notwendig sind. Aus der Zunahme des abdominellen Volumens resultiert ein Ansteigen der mechanischen Atemarbeit bei Schwangeren, wie GARBAGNI (21) 1961 mit Hilfe der Ösophagusdruckmessung nachweisen konnte. Mit der erhöhten Atemarbeit der Schwangeren korreliert der schon früher (1959) von BADER et al. erhobene Befund eines erhöhten C_2 - verbrauchs der Atemmuskulatur (3).

Einmütigkeit herrscht in der Literatur über die Beobachtung eines verminderten funktionellen Residualvolumens (FRV) (2,6,10,26,28,34,38,40,41,43,44). Das funktionelle Residualvolumen (FRV) setzt sich zusammen aus dem Residualvolumen und dem expiratorischen Reservevolumen. Das funktionelle Residualvolumen ist nur bedingt mit dem ganzkörperplethysmographisch gemessenen intrathorakalen Gasvolumen vergleichbar, da das letztere sämtliche intrathorakal lokalisierten Luftvolumina umfaßt, die sich am Ende einer normalen Expiration noch im Thoraxraum befinden - auch dann, wenn sie nicht in offener Verbindung mit dem Tracheobronchialbaum stehen. Eine der ersten Beobachtungen über eine Abnahme des funktionellen Residualvolumens im Verlauf der Schwangerschaft stammt von ANTHONY und HANSEN (2). Die Autoren führten diese Verringerung allerdings lediglich auf eine Abnahme des expiratorischen Reservevolumens (ERV) und nicht auf eine Abnahme des Residualvolumens (RV) zurück. Ähnliche Befunde erhoben RUBIN et al. (43), die bei acht kurz vor

der Entbindung stehenden Graviden eine deutliche Verringerung des expiratorischen Reservevolumens im Vergleich zu den zwischen der 7. bis 14. Woche post partum gemessenen Werten fanden (ERV ante partum = 505 ml, ERV post partum = 771 ml). Dem entsprechen Befunde von KERR (28), der feststellte, daß das expiratorische Reservevolumen in der Schwangerschaft bis annähernd auf die Hälfte des Normalwerts absinkt.

Eine Abnahme des funktionellen Residualvolumens in der zweiten Hälfte der Schwangerschaft wiesen CUGELL et al. (10), NOVY et al. (38), PREVARSKY (40) und PROWSE et al. (41) nach, wobei die Abnahme zwischen 17 und 25 % des Normalwerts schwankt. In Einklang mit diesen Ergebnissen fand sich in den eigenen Untersuchungen auch für das intrathorakale Gasvolumen (IGV) eine statistisch signifikante Abnahme in der Gravidität. Der Vorzug der eigenen Methodik lag in der genauen, von der Probandin nicht zu beeinflussenden Meßtechnik (Bodyplethysmographie) und in der kontinuierlichen Untersuchung jeweils derselben Frauen im gesamten Verlauf der Schwangerschaft und nach der Entbindung. In den oben zitierten Arbeiten wurden dagegen meist zwei Kollektive A und B gebildet, wobei das Kollektiv A eine Gruppe von Schwangeren umfaßte und das Kollektiv B eine Gruppe von Nichtschwangeren. Der Vergleich der beiden Gruppen ist aber problematisch, da A und B hinsichtlich Größe, Gewicht und Alter nie identisch zu halten sind. Dadurch wird der Einfluß der biologischen Variabilität sehr groß. Bei der eigenen Untersuchungsreihe dagegen war nur ein einziges Kollektiv vorhanden; jede Probandin wurde mehrfach im Verlaufe der Schwangerschaft und während des Wochenbettes untersucht. Damit bildete jede Probandin ihre eigene Kontrolle.

Am Ende der Schwangerschaft betrug die Abnahme des intrathorakalen Gasvolumens im Mittel - 16,5 %. Zwischen der

Höhe des intrathorakalen Gasvolumens und der Schwangerschaftsdauer fand sich eine umgekehrte Proportionalität: IGV in ml = 4081,1 - 21,1 Schwangerschaftswochen.

Daraus geht hervor, daß sich mit der kontinuierlichen Vergrößerung des Bauchraumes während der Schwangerschaft wahrscheinlich auch die Atemmittellage kontinuierlich ändert.

Die Lungencompliance, die ein Maß für die Dehnbarkeit der Lunge darstellt, ist unter anderem nicht nur von den elastischen Eigenschaften des Lungengewebes abhängig, sondern auch von der Größe des Lungenvolumens. Je kleiner das Ausgangsvolumen, von dem aus die Lungen gedehnt werden sollen, umso geringer ist die Compliance. Man hat deswegen den Begriff der "spezifischen Compliance" eingeführt (30), der nichts anderes darstellt als die Umrechnung der Volumendruckbeziehung auf das funktionelle Residualvolumen bzw. auf das intrathorakale Gasvolumen:

$$C_{\text{spez.}} = \frac{\Delta V}{\Delta P} / FRV = \frac{\Delta V}{\Delta P} / IGV$$

Infolge der Abnahme des intrathorakalen Gasvolumens im Verlauf der Schwangerschaft wäre theoretisch eine Verringerung der Lungencompliance zu erwarten. Bei den in der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der Ösophagusdruckmessung untersuchten sechs Frauen ließ sich jedoch kurz ante partum weder für die statische noch für die spezifische Compliance eine signifikante Veränderung nachweisen. Dieses Ergebnis stimmt mit den von anderen Autoren gewonnenen Beobachtungen überein (24,38). Möglicherweise sind die Veränderungen des intrathorakalen Gasvolumens während der Gravidität doch zu gering, um sich in einer Abnahme der Lungencompliance meßtechnisch sicher erfassen zu lassen.

Mit der Abnahme des intrathorakalen Gasvolumens in der Gravidität korreliert der Befund einer Zunahme des ganz-

körperplethysmographisch gemessenen bronchialen Strömungswiderstandes um 11,1 %. Damit sind die früher mit der Vuilleumier'schen Unterbrechertechnik (52) erhobenen Befunde, wonach der Bronchialwiderstand unverändert (29) oder sogar erniedrigt sein soll (38,43), durch die zuverlässigere Methode der Bodyplethysmographie widerlegt. Die Zunahme des bronchialen Strömungswiderstandes ist sicherlich der Grund für die lange bekannte Beobachtung einer verringerten Sekundenkapazität (Tiffeneau-Wert) im Verlauf der Schwangerschaft (9,19,28,43). Besonders COLETTE et al. (9) konnten in ihrer Untersuchungsreihe nachweisen, daß die absolute und relative Sekundenkapazität vom dritten Schwangerschaftsmonat an kontinuierlich abnimmt und auch nach der Entbindung nicht sofort wieder ihren normalen Wert erreicht. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen FERRERO et al. (19); diese Autoren fanden eine Verringerung der absoluten Sekundenkapazität auf 1740 ml in der Gravidität gegenüber einer absoluten Sekundenkapazität von 1890 ml im Wochenbett.

Die in der eigenen Meßserie nachgewiesene Erhöhung des bronchialen Strömungswiderstandes kommt allein zustande durch die Abnahme des intrathorakalen Gasvolumens während der Gravidität. Da der Tracheobronchialbaum kein starres Rohrsystem ist, sind die Wände der Bronchien sowohl dehnbar als auch zusammendrückbar. Die Luftwege haben die Tendenz, ihre Lichtung zu verkleinern, werden aber durch den Zug des umliegenden Lungenparenchyms offengehalten; es besteht ein Gleichgewicht zwischen Zug nach innen und Zug nach außen. Jede Verschiebung dieses Gleichgewichts führt zu einer Änderung des Lichtungsquerschnitts und somit zu einer Änderung des bronchialen Strömungswiderstandes (Resistance). Bei ruhiger Atmung ändert sich die Lichtung der Atemwege wenig. Während tiefer In - und

Expiration sind aber röntgenologisch, bronchographisch und bronchoskopisch erhebliche Kaliberschwan-
kungen nachgewiesen worden (8,11,46,47). In Übereinstimmung damit ist bei großen Volumenverschiebungen während der Ven-
tilation (z.B. bei Prüfung der Vitalkapazität) eine ex-
spiratorische Zunahme der Resistance meßbar. Entschei-
dend für die momentane Resistance ist somit das jewei-
lige aktuelle Lungenvolumen. So haben BRISCOE und DU
BOIS (7) experimentell eine inverse Beziehung zwischen
intrathorakalem Gasvolumen und Resistance nachweisen
können. Es liegt nahe, auch die eigenen Befunde einer
erhöhten Resistance in der Gravidität auf das gleich-
zeitig erniedrigte intrathorakale Gasvolumen zurückzu-
führen. Tatsächlich fand sich keine Veränderung der
Resistance mehr, wenn man das in einunddemselben Meß-
gang mitbestimmte intrathorakale Gasvolumen berücksich-
tigte: das Produkt aus Resistance $\cdot$ IGV - die sogenannte
"spezifische" Resistance (35) - blieb im Verlauf der
Schwangerschaft konstant. Damit läßt sich ein broncho-
konstriktorischer Mechanismus, wie er beim Zwerchfell-
hochstand der Adipösen vorkommt (17,18), für die schwan-
gere Frau ausschließen.

8. Z u s a m m e n f a s s u n g

Bei insgesamt 30 gesunden Frauen im Alter von 20 bis 40
Jahren wurden während des zweiten und dritten Schwanger-
schaftsdrittels sowie bis zu 40 Wochen nach der Entbin-
dung mehrfache Lungenfunktionsuntersuchungen durchgeführt,
die im wesentlichen 4 Meßwerte umfaßten:

- a) Intrathorakales Gasvolumen (= funktionelles Residual-
volumen)
- b) Vitalkapazität
- c) Atemwegs-Resistance (= bronchialer Strömungswiderstand)
- d) Statische Lungen-Compliance (= Volumendehnbarkeit)

Im Gegensatz zu den meisten bisher bekannten Studien dieser Art wurden die während der Schwangerschaft gemessenen Werte nicht etwa auf einen theoretischen Sollwert bezogen, sondern unmittelbar mit Werten verglichen, die bei ein- und derselben Probandin außerhalb der Schwangerschaft gemessen wurden. Dadurch konnte der Einfluß der biologischen Variabilität klein gehalten werden. Es fanden sich die folgenden Ergebnisse:

1. Im Laufe der Schwangerschaft nimmt das intrathorakale Gasvolumen (IGV) kontinuierlich ab - und zwar nach folgender Regressionsgleichung:
$$\text{IGV in ml} = 3081,1 - 27,1 \text{ Schwangerschaftsdauer in Wochen.}$$

Die Abnahme des intrathorakalen Gasvolumens betrug am Ende der Gravidität im Mittel - 16,5 %.
2. Die Vitalkapazität war während der Schwangerschaft *n i c h t* signifikant verändert.
3. Die Atemwegs-Resistance nimmt während der Gravidität *z u* - und zwar umso mehr, je niedriger das intrathorakale Gasvolumen ist. Zwischen Atemwegs-Resistance (R) und intrathorakalem Gasvolumen (IGV) fand sich eine Beziehung, die die Funktion einer Hyperbel hat:
$$R \text{ in cm H}_2\text{O/l/sec.} = 6,94 (\text{IGV in l} + 1,56)^{-1}$$

Am Ende der Gravidität betrug der Resistance-Anstieg im Mittel + 11,1 %.
4. Die statische Lungen-Compliance war am Ende der Gravidität *n i c h t* signifikant verändert.

Die gewonnenen Ergebnisse werden als Folge einer relativen Verkleinerung des Thoraxraumes interpretiert: Durch die Volumenzunahme des graviden Uterus tritt das Zwerchfell nach oben, das intrathorakale Gasvolumen nimmt ab, und die Atemruhelage verschiebt sich in

den unteren Bereich der Vitalkapazität. Damit ist eine Veränderung des aktuellen Dehnungszustandes der Lungen verbunden, welche wiederum den Atemwegsquerschnitt geringgradig verkleinert und somit die Atemwegs-Resistance ansteigen läßt.

9. Literatur

1. ALWARD, H.C.:
Observations on the vital capacity during the last month of pregnancy and puerperium.
Amer.J.Obstet.Gynec. 20,373 (1930)
2. ANTHONY, A.J., HANSEN, R.:
Schlagvolumen und Minutenvolumen des Herzens am Ende der Schwangerschaft und nach der Entbindung.
Z.Geburtsh.Gynäk. 110,1-8 (1934)
3. BADER, R.A., BADER, M.E., ROSE, D.J.:
The oxygen cost of breathing in dyspnoic subject as studied in normal pregnant women.
Clin.Sci. 18,223 (1959)
4. BEDELL, G.N., WILSON, W.R., SEEBOHM, P.M.:
Pulmonary function in obese persons.
J.Lab.clin.Med. 50,790 (1957)
5. BITTORF, A., FORSCHBACH, J.:
Untersuchungen über die Lungenfüllung bei Krankheiten.
Z.klin.Med. 70,474 (1910)
6. BORGARD, W., EFFKEMANN, G.:
Ergebnisse der Lungenfunktionsprüfung in der Schwangerschaft.
Arch.Gynäk. 165,183 (1937)
7. BRISCOE, W.A., DU BOIS, A.B.:
The relationship between airway resistance, airway conductance and lung volume in subjects of different age and body size.
J.clin.Invest. 37,1279 (1958)
8. BULLOWA, J.G.M., GOTTLIEB, C.:
Roentgen ray studies of bronchial function.
Med.Res. 27,251 (1920)
9. COLETTE, C., BARALE, F., PIQUARD, M.:
Modifications de la ventilation pulmonaire au cours de la grossesse.
Bull.Fed.Soc.Gynec.Obstet.franc. 12,429 (1960)
10. CUGELL, D.W., FRANK, N.R., GAENSLER, E.A., BADGER, TH.L.:
Pulmonary function in pregnancy.
Amer.Rev.Tuberc. 67,568-97 (1953)
11. DI RIENZO, S.:
Bronchial dynamism.
Radiology 53,168 (1949)

12. DÖRING, G.K.:
Über Veränderungen von Atmung und Körpertemperatur
in der Schwangerschaft.
Arch.Gynäk. 176,759 (1949)
13. DOHRN, R.:
Zur Kenntnis des Einflusses von Schwangerschaft und
Wochenbett auf die vitale Capacität der Lungen.
Mschr.Geburtsh.Gynäk. 28,457 (1866)
14. DORIGO, L.:
Research on respiratory function in pregnancy.
Measurement of pulmonary volumes.
Quad.Clin.ostet.ginec. 15,942 (1960)
15. DU BOIS, A.B., BOTELHO, S.Y., BEDELL, G.N.,
MARSHALL, R., COMROE jr. J.H.:
A rapid plethysmographic method for measuring
thoracic gas volume:a comparison with a nitrogen
washout method for measuring functional residual
capacity in normal subjects.
J.clin.Invest. 35,322 (1956)
16. DU BOIS, A.B., BOTELHO, S.Y., COMROE, J.H.:
A new method for measuring airway resistance in
man using a bodyplethysmograph:values in normal
subjects and in patients with respiratory disease.
J.clin.Invest. 35,327 (1956)
17. FABEL, H., HAMM, J.:
Atemmechanik und arterielle Blutgase bei Fettsucht.
Verh.Ges.Lungen- u.Atmungsforsch. 1,298 (1967)
18. FABEL, H., HAMM, J.:
Lungenfunktion und Fettsucht.
Verh.dtsch.Ges.inn.Med. 71,467 (1965)
19. FERRERO, A., MATTIOLI, G.:
La funzionalita respiratoria in gravidanza ed in
puerperio.
Ann. Ostet.Ginec. 11,948 (1962)
20. GAMAIN, B., MAREL, A., FARZANEH, N. et Coby, J.:
Obesite et fonction respiratoire.
Poumon 21,973 (1965)
21. GARBAGNI, G.:
Il lavoro respiratorio nella gravida a termine.
Minerva ginec. 15,751 (1962)

22. GARBAGNI, R., CARELLI, E., CARDELLINO, G.:
Studies of respiratory physiopathology in normal
term pregnancies.
Minerva med. 53,3557 (1962)
23. GEBBIA, G.:
Modificazioni del ritmo respiratorio della capacita
vitale e dei diametri toracici in gravidanza e in
puerperio.
G.Ostet.Ginec. 17,252 (1953)
24. GEE, J.B.L., PACKER, B.S., MILLER, J.E.,
ROBIN, E.D.:
Pulmonary mechanics during pregnancy.
J.clin.Invest. 46,945 (1967)
25. HACKNEY, J.D., CRANE, M.G., CALLIER, C.C.,
ROCKAW, S., GRIGGS, D.:
Syndrome of extreme obesity and hypoventilation.
Studies of etiology. Ann.intern.Med. 51,541 (1959)
26. HASSELBALCH, K.A.:
Ein Beitrag zur Respirationsphysiologie in der
Gravidität.
Skand.Arch.Physiol. 27,1 (1912)
27. IHRMANN, K.:
A clinical and physiological study of pregnancy
in a material from Northern Sweden.
Acta Soc.Med.upsalien 65,147 (1960)
28. KERR, J.H.:
An analysis of ventilatory volumes in pregnancy.
Canad.Anaesth.Soc.J. 10,137 (1963)
29. KERR, J.H.:
Bronchopulmonary resistance in pregnancy.
Canad.Anaesth.Soc.J. 8,347 (1961)
30. LIM, TH.P.K., LUFT, U.C.:
Alterations in lung compliance and functional
residual capacity.
J.appl.Physiol. 14,164 (1959)
31. LODE, H., HÜTTEMANN, U., WOLFF, CH. v. (Berlin):
Der Einfluß endoskopischer abdomineller Unter-
suchungen auf die Atmung.
Respiration 29,61 (1972)
32. MENEELY, G.R., KALTREIDER, N.L.:
Volume of the lung determined by helium dilution.
J.clin.Invest. 28,129 (1949)

33. MIRAGLIA, F., GHIRINGHELLI, G., BOMING, G.,
GRASSI, C.:
Osservazioni sulla funzionalità respiratoria in
corso di gravidanza.
Minerva ginec. 16, 261 (1964)
34. MÖBIUS, W.:
Atmung und Schwangerschaft.
Münch.med.Wschr. 103, 1389 (1961)
35. NOLTE, D.:
Druck-Strömungsdiagramm der Lungen bei Adipositas.
Klin.Wschr. 47, 1119 (1969)
36. NOLTE, D.:
Moderne Lungenfunktionsdiagnostik bei obstruktiven
Atemwegserkrankungen: die Ganzkörperplethysmographie.
Med.Welt 48 (N.F.), 2746 (1967)
37. NOLTE, D., REIF, E., ULMER, W.T.:
Die Ganzkörperplethysmographie.
Respiration 25, 14 (1968)
38. NOVY, M.J. EDWARDS, M.J.:
Respiratory problems in pregnancy.
Amer.J.Obstet.Gynec. 99 (1967)
39. PATTON, W.E., ABELMANN, W.H., FRANK, N.R.,
BADGER, T.L., GAENSLER, E.A.:
Pulmonary function in pregnancy II. Comparison
of the effects of pneumoperitoneum and pregnancy
in young women with functionally normal lungs and
serial observations during pregnancy and postpartum
pneumoperitoneum.
Amer.Rev.Tuberc. 67, 757 (1953)
40. PREVARSKY, B.P.:
The state of pulmonary respiration in normal
pregnancy (russisch).
Akush.i.Ginek. 42, 27 (1966)
41. PROWSE, C.M., GAENSLER, E.A.:
Respiratory and acid-base changes during pregnancy.
Anesthesiology 26, 381 (1965)
42. ROSSIER, P.H., BÜHLMANN, A., WIESINGER, R.:
Physiologie und Pathophysiologie der Atmung.
Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958
43. RUBIN, A., RUSSO, N., GOUCHER, D.:
The effect of pregnancy upon pulmonary function in
normal women.
Amer.J.Obstet.Gynec. 72, 963 (1956)

44. SAIA, B., CHIZECLINI, M., GAFFURI, E.:
Modificazioni dei volumi polmonari durante la gravidanza.
Attual.Ostet.Ginec. 14,327 (1968)
45. SAVI, C., DE MINICIS, E.:
Il comportamento della frequenza dei respiri in funzione della ventilazione polmonare in gravidanza.
Riv.ital.Ginec. 42,403 (1959)
46. STEINMANN, E.P.:
Die Patho-Physiologie des Bronchialbaumes.
Fortschr.Hals-Nas.-Chrenheilk. 3 (1956)
47. STUTZ, E., VIETEN, H.:
Die Bronchographie.
Thieme, Stuttgart 1955
48. THOMPSON, K.J., COHEN, M.E.:
Studies on the circulation in pregnancy: Vital capacity observations in normal pregnant women.
Surg.Gynec.Obstet. 66,591 (1938)
49. TUCKER, D.H., SIEKER, H.O.:
The effect of change in body position on lung volumes and intrapulmonary gas mixing in patients with obesity, heart failure and emphysema.
Amer.Rev.resp.Dis. 83,787 (1960)
50. UMBRIGHT, W., MEAN, H.:
Die Atmungsphysiologie während der Schwangerschaft.
Zbl.Gynäk. 67,28 (1943)
51. VEJAS, P.:
Mittheilungen über den Puls und die vitale Lungen-capazität bei Schwangeren, Kreissenden und Wöchnerinnen.
Volkman's Sammlung Klin.Vort. 1941,269 (1886)
52. VUILLEUMIER, P.:
Über eine Methode zur Messung des intraalveolaren Druckes und der Strömungswiderstände in den Atemwegen des Menschen.
Z.klin.Med. 143,698 (1944)
53. WILBRAND, U., PORATH, CH., MATTHAES, P., JASTER, R.:
Der Einfluß der Ovarialsteroido auf die Funktion des Atemzentrum.
Arch.Gynäk. 191,507 (1959)

54. WINTRICH, M.A.:
Einleitung zur Darstellung der Krankheiten der
Respirationsorgane.
Virchow's Handb.Spec.Path.Ther. 5,101 (1854)

Meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr.D.Nolte, danke ich für die Anregungen, Hinweise und Auskünfte zu meiner Arbeit, Herrn Professor Dr.R.Kepp dafür, daß er mir ermöglichte, Untersuchungen an Patienten seiner Klinik vorzunehmen; bei Frau Lüder und Fräulein Schmidt möchte ich mich für ihre freundliche Hilfe bei meinen Untersuchungen bedanken.

L e b e n s l a u f

Am 30.7.1944 wurde ich, Bärbel Spiegl, geb. Indra, in Bad Königswart (CSSR) als Tochter des Studienrats Dr. Friedrich Indra und seiner Ehefrau Dr. Anneliese Indra, geb. Pompl, geboren. 1946 wurde unsere Familie nach Bettenhausen bei Lich (Oberhessen) ausgesiedelt; im Jahre 1950 übersiedelten wir nach Gießen. Vom Jahre 1951 bis 1955 besuchte ich die Pestalozzischule und vom Jahre 1955 bis 1964 das altsprachliche Landgraf Ludwig-Gymnasium in Gießen, wo ich im Februar 1964 die Reifeprüfung ablegte. 1964 immatrikulierte ich mich für das Fach Medizin in Marburg; ab dem 2. Semester studierte ich Medizin an der Justus Liebig-Universität in Gießen, wo ich 1965 das Vorphysikum, 1966 das Physikum und 1970 das Staatsexamen ablegte. Im Jahre 1970 heiratete ich Günter Spiegl. Nach Ableistung meiner Medizinalassistentenzeit wurde ich im Januar 1972 approbiert.

